

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-293600

(43)Date of publication of application : 11.11.1997

(51)Int.Cl. H05H 1/46  
 C23C 16/50  
 C23F 4/00  
 H01L 21/205  
 H01L 21/285  
 H01L 21/3065

(21)Application number : 09-001242 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC  
 IND CO LTD

(22)Date of filing : 08.01.1997 (72)Inventor : NAKAGAWA HIDEO  
 HAYASHI SHIGENORI  
 NAKAYAMA ICHIRO  
 OKUMURA TOMOHIRO

(30)Priority

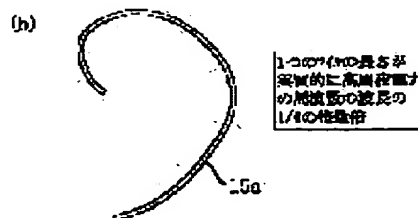
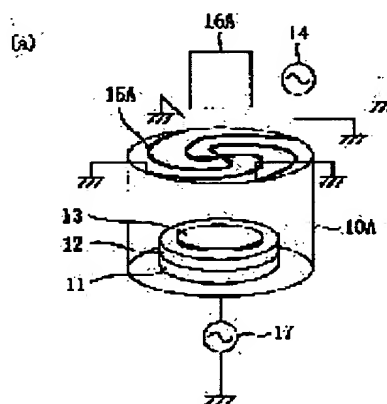
Priority number : 08 39436 Priority date : 27.02.1996 Priority country : JP

(54) DEVICES FOR HIGH-FREQUENCY ELECTRIC POWER APPLYING,  
 PLASMA GENERATING, AND PLASMA TREATING; AND METHODS FOR  
 HIGH-FREQUENCY ELECTRIC POWER APPLYING, PLASMA GENERATING,  
 AND PLASMA TREATING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To generate plasma under the pressure of high-vacuum degree in a plasma treating device, regardless of applied high-frequency electric power, having a high frequency, thereby to accurately perform plasma treating having high uniformity and low damage.

SOLUTION: A lower electrode 12, for retaining an object 13 to be treated, is provided via an insulator 11 on the bottom part in a chamber 10a. In a first high-frequency power source 14, high-frequency electric power is applied to a multi-spiral-coil 15A, consisting of four parallelly connected spiral coil parts 15a, via an impedance matching apparatus 16A. The length of respective coil portions 15a to one coil is 1/4 of the wavelength of the high-frequency electric power supplied from the first high frequency power source 14. The second high frequency power source 17 applies high-frequency bias



voltage to the lower electrode 12.

---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 30.03.1999

[Date of sending the examiner's  
decision of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09293600 A**(43) Date of publication of application: **11 . 11 . 97**

(51) Int. Cl.

**H05H 1/46**  
**C23C 16/50**  
**C23F 4/00**  
**H01L 21/205**  
**H01L 21/285**  
**H01L 21/3065**

(21) Application number: **09001242**(22) Date of filing: **08 . 01 . 97**(30) Priority: **27 . 02 . 96 JP 08 39436**

(71) Applicant:

**MATSUSHITA ELECTRIC IND CO**  
**LTD**

(72) Inventor:

**NAKAGAWA HIDEO**  
**HAYASHI SHIGENORI**  
**NAKAYAMA ICHIRO**  
**OKUMURA TOMOHIRO**

(54) **DEVICES FOR HIGH-FREQUENCY ELECTRIC POWER APPLYING, PLASMA GENERATING, AND PLASMA TREATING; AND METHODS FOR HIGH-FREQUENCY ELECTRIC POWER APPLYING, PLASMA GENERATING, AND PLASMA TREATING**

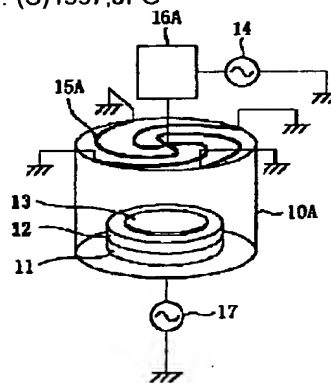
COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(57) Abstract:

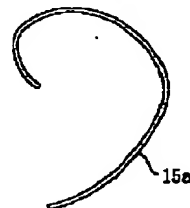
**PROBLEM TO BE SOLVED:** To generate plasma under the pressure of high-vacuum degree in a plasma treating device, regardless of applied high-frequency electric power, having a high frequency, thereby to accurately perform plasma treating having high uniformity and low damage.

**SOLUTION:** A lower electrode 12, for retaining an object 13 to be treated, is provided via an insulator 11 on the bottom part in a chamber 10a. In a first high-frequency power source 14, high-frequency electric power is applied to a multi-spiral-coil 15A, consisting of four parallelly connected spiral coil parts 15a, via an impedance matching apparatus 16A. The length of respective coil portions 15a to one coil is 1/4 of the wavelength of the high-frequency electric power supplied from the first high frequency power source 14. The second high frequency power source 17 applies high-frequency bias voltage to the lower electrode 12.

(a)



(b)



1つの1/4の長さが  
実質的に高周波電力  
の共振長の波長の  
1/4の整数倍

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-293600

(43) 公開日 平成9年(1997)11月11日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H	1/46		H 0 5 H 1/46	M R
C 2 3 C	16/50		C 2 3 C 16/50	
C 2 3 F	4/00		C 2 3 F 4/00	A
H 0 1 L	21/205		H 0 1 L 21/205	

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-1242

(22) 出願日 平成9年(1997)1月8日

(31) 優先権主張番号 特願平8-39436

(32) 優先日 平8(1996)2月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 中川 秀夫

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 林 重徳

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 中山 一郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 前田 弘 (外2名)

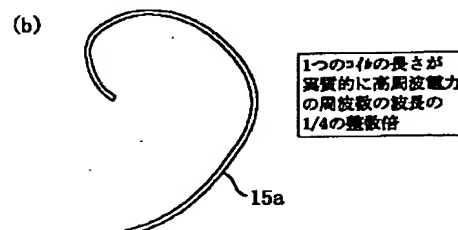
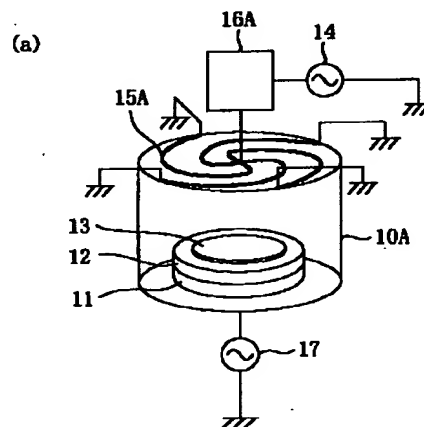
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波電力印加装置、プラズマ発生装置、プラズマ処理装置、高周波電力印加方法、プラズマ発生方法及びプラズマ処理方法

## (57) 【要約】

【課題】 プラズマ処理装置において、周波数の高い高周波電力を印可しても、高真空度の圧力下においてプラズマを発生することができ、これにより、高均一で且つ低ダメージのプラズマ処理を高精度に行なうことができるようにする。

【解決手段】 チャンバー10A内の底部には、被処理物13を保持する下部電極12が絶縁体11を介して設けられている。第1の高周波電源14は、高周波電力をインピーダンス整合器16Aを介して、4本の渦巻き状のコイル部分15aが並列に接続されてなるマルチスパイラルコイル15Aに印加する。各コイル部分15aの1本当りりの長さは、第1の高周波電源14から供給される高周波電力の波長の1/4である。第2の高周波電源17は下部電極12に高周波バイアス電圧を印加する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高周波電力を発生させる高周波電力発生源と、

前記高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持ち、前記高周波電力発生源から高周波電力を供給されて高周波電流が流れると磁界を発生するコイルと、

前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器とを備えていることを特徴とする高周波電力印加装置。

【請求項2】 前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項3】 前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長のほぼ $1/4$ 又はほぼ $1/2$ であることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項4】 前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ 又は $1/2$ に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項5】 前記高周波電力の周波数は $30\text{MHz} \sim 300\text{MHz}$ であることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項6】 前記インピーダンス整合器は、少なくとも2個の可変コンデンサにより構成されていることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項7】 前記コイルは、それぞれが前記高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つと共にコイル中心に対して点対称に配置された複数のコイル部分により構成されていることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項8】 前記複数のコイル部分は、同一の円周上に位置する円弧部をそれぞれ有していることを特徴とする請求項7に記載の高周波電力印加装置。

【請求項9】 前記コイルは、平面的な渦巻き状に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項10】 前記コイルは、立体的な渦巻き状又は螺旋状に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の高周波電力印加装置。

【請求項11】 内部が真空状態に保持されるチャンパーと、

前記チャンパー内に気体を導入する気体導入手段と、高周波電力を発生させる高周波電力発生源と、

前記高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持ち、前記高周波電力発生源から高周波電力を供給されて高周波電流が流れると、前記チャンパー内に導入された気体をプラズマ化する磁界を発生させるコイルと、

前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス

整合をとるインピーダンス整合器とを備えていることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項12】 内部が真空状態に保持されるチャンパーと、

前記チャンパー内に設けられており、被処理物を保持する試料台と、

前記チャンパー内に気体を導入する気体導入手段と、

高周波電力を発生させる高周波電力発生源と、

前記高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持ち、前記高周波電力発生源から高周波電力を供給されて高周波電流が流れると、

前記チャンパー内に導入された気体をプラズマ化する磁界を発生させるコイルと、

前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器とを備えていることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項13】 前記チャンパーと電気的に絶縁された高周波電圧及び定電圧のうちの少なくとも1つの電圧を前記試料台に印加する電圧印加手段をさらに備えていることを特徴とする請求項12に記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】 前記高周波電力発生源より発生する高周波電力をパルス変調する第1のパルス変調器と、前記電圧印加手段により印加される電圧をパルス変調する第2のパルス変調器とをさらに備えていることを特徴とする請求項13に記載のプラズマ処理装置。

【請求項15】 高周波電力発生源より発生する高周波電力を、該高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つコイルに、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器を介して印加する工程と、

前記コイルに流れる高周波電流により該コイルに磁界を発生させる工程とを備えていることを特徴とする高周波電力印加方法。

【請求項16】 前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることを特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項17】 前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長のほぼ $1/4$ 又はほぼ $1/2$ であることを特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項18】 前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ 又は $1/2$ に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることを特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項19】 前記高周波電力の周波数は $30\text{MHz} \sim 300\text{MHz}$ であることを特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項20】 前記インピーダンス整合器は、少なくとも2個の可変コンデンサにより構成されていることを

特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項21】 前記コイルは、それぞれが前記高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つと共にコイル中心に対して点対称に配置された複数のコイル部分により構成されていることを特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項22】 前記複数のコイル部分は、同一の円周上に位置する円弧部をそれぞれ有していることを特徴とする請求項21に記載の高周波電力印加方法。

【請求項23】 前記コイルは、平面的な渦巻き状に形成されていることを特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項24】 前記コイルは、立体的な渦巻き状又は螺旋状に形成されていることを特徴とする請求項15に記載の高周波電力印加方法。

【請求項25】 内部が真空状態に保持されるチャンバー内に気体を導入する工程と、高周波電力発生源より発生する高周波電力を、該高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つコイルに、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器を介して印加する工程と、前記コイルに流れる高周波電流により前記コイルに磁界を発生させる工程と、前記コイルにより発生した磁界により、前記チャンバー内に導入された気体をプラズマ化する工程とを備えていることを特徴とするプラズマ発生方法。

【請求項26】 内部が真空状態に保持されるチャンバー内に設けられた試料台に被処理物を保持させる工程と、前記チャンバー内に気体を導入する工程と、高周波電力発生源より発生する高周波電力を、該高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つコイルに、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器を介して印加する工程と、前記コイルに流れる高周波電流により前記コイルに磁界を発生させる工程と、前記コイルにより発生した磁界により、前記チャンバー内に導入された気体をプラズマ化する工程と、プラズマ化した気体により前記試料台に保持されている被処理物に対して処理を行なう工程とを備えていることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項27】 前記チャンバーと電気的に絶縁された高周波電圧及び定電圧のうちの少なくとも1つの電圧を前記試料台に印加する工程をさらに備えていることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項28】 前記コイルに印加される高周波電力をパルス変調する工程と、前記試料台に印加される電圧をパルス変調する工程とをさらに備えていることを特徴と

する請求項27に記載のプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はプラズマを利用して、ドライエッチングによる微細加工、薄膜形成、表面改質等の処理を行なうプラズマ処理技術、該プラズマ処理に使用するプラズマ生成技術、及びプラズマを生成するための高周波電力印加技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、プラズマ処理は、ドライエッチングによる微細加工、薄膜形成及び表面改質等の物質の表面処理に広く利用されており、特に半導体の分野においては、超高集積回路装置を製造する上で必要不可欠な技術となっている。

【0003】 従来、プラズマ処理には容量結合型の平行平板プラズマ発生装置が広く用いられてきた。これは、均一なプラズマ処理が要求される中で、比較的低い真空度の圧力下で均一な低密度プラズマを容易に発生させることができることによるものである。ところが、半導体集積回路の微細化が進むにつれ、最近では高い真空度の圧力下で高密度プラズマを生成する必要性が生じており、コイルに流れる高周波電流により形成される誘導磁界を減圧下の空間に作用させてプラズマを発生させる誘導結合型プラズマ発生装置及びそれを用いたプラズマ処理装置が注目を集めている。

【0004】 以下、従来の誘導結合型プラズマ処理装置の一例について図面を参照しながら説明する。

【0005】 図18は第1の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置の概略図を示しており、図18において、101は円筒状のチャンバーであって、該チャンバー101の内部は所定の圧力に保持される。チャンバー101には、図示しない気体導入手段、排気手段及び被処理物を出し入れする搬入手段が設けられている。

【0006】 チャンバー101の底部には、絶縁体102を介して下部電極（試料台）103が設けられており、該下部電極103はエッチングや膜堆積を行なう半導体ウエハ等の被処理物104を保持する。

【0007】 チャンバー101の上方には、第1の高周波（RF: Radio Frequency）電源105が設けられていると共に、一端が接地された平面状の1本の渦巻き状コイル106が設けられている。第1の高周波電源105はインピーダンス整合器107を介して渦巻き状コイル106の他端に接続されている。また、チャンバー101の下方には第2の高周波電源108が設けられている。第2の高周波電源108は、チャンバー101及び絶縁体102とは電気的に絶縁されている一方、下部電極103とは電気的に接続されており、チャンバー101内に生成されるプラズマに対して高周波バイアス電圧を印加する。安全のために、通常、第1の高周波電源105、第2の高周波電源108及び渦巻き状コイル10

6の接地電位はチャンバー101と同電位にとられている。

【0008】以下、第1の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置を用いてプラズマ処理を行なう方法について説明する。

【0009】まず、図示しない搬入手段により被処理物104をチャンバー101に搬入して下部電極103の上に保持する。その後、図示しない気体導入手段より気体をチャンバー101に導入すると共に図示しない排気手段によりチャンバー101内の気体を排出することにより、チャンバー101の内部を所定の圧力に維持する。

【0010】次に、第1の高周波電源105から高周波電力を渦巻き状コイル106に印加すると共に、第2の高周波電源108から高周波電力を下部電極103に印加する。渦巻き状コイル106に印加される高周波電力により渦巻き状コイル106には高周波電流が流れ、該高周波電流により発生する交番磁界がチャンバー101内の空間に作用するので、チャンバー101内の空間に存在する電子は渦巻き状コイル106により発生する磁界を打ち消すような磁界を発生させる方向に移動する。この誘導結合によって電子が移動することによりチャンバー101内の気体がプラズマ化する。この場合、インピーダンス整合器107はプラズマに対してインピーダンス整合をとるので、安定なプラズマ放電を起こすことができる。

【0011】チャンバー101内に生成されたプラズマを被処理物104に作用させることにより、被処理物104の表面酸化、表面窒化及び不純物ドーピング等の表面改質、並びに被処理物104の表面での薄膜形成及び等方性ドライエッチングが可能となる。

【0012】また、第2の高周波電源108により下部電極103に印加される交流バイアス電圧によって生じる $V_{pp}$  (Peak-to-Peak電圧) 及び $V_{dc}$  (下部電極103の直流電位) を用いると、プラズマ中のイオンを効率良く被処理物104に照射できるので、異方性のドライエッチングによる微細加工が実現できる。

【0013】被処理物104に対する処理が終了した時点で、第1の高周波電源105及び第2の高周波電源108からの高周波電力の供給を終了した後、チャンバー101内への気体導入を終了すると共にチャンバー101内の残留気体を排出し、その後、被処理物104をチャンバー101の外部に取り出すと、プラズマ処理は完了する。

【0014】図19は第2の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置の概略図を示している。図19においては、図18に示した第1の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置と同様の部材については、同一の符号を付すことにより、説明を省略する。第2の従来例においては、第1の従来例における渦巻き状コイル106に代え

て、チャンバー101の側方に螺旋状コイル109が設けられている。第2の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置を用いてプラズマ処理を行なう方法は、第1の従来例と同様である。

【0015】図20は第3の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置の概略図を示している。図20においては、図18に示した第1の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置と同様の部材については、同一の符号を付すことにより、説明を省略する。第3の従来例においては、第1の従来例における1本の渦巻き状コイル106に代えて、4本のコイルが並列に接続されてなるマルチスパイラルコイル110が設けられている。第3の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置を用いてプラズマ処理を行なう方法は、第1の従来例と同様である。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】ところで、第1及び第2の従来例においては、プラズマの電子温度を制御するべく13.56MHzよりも高い周波数の高周波電力を渦巻き状コイル106又は螺旋状コイル109に印加すると、渦巻き状コイル106及び螺旋状コイル109のリアクタンス ( $j\omega L$ :  $j$ は虚数単位、 $\omega$ は高周波電力の角周波数、 $L$ はコイルのインダクタンス) が増大するので、インピーダンス整合を取る事が困難になる。このため、プラズマ放電が起こりにくいという問題を有している。

【0017】また、第1及び第2の従来例においては、大きい面積に亘って高い均一性を持つプラズマを生成するためには、渦巻き状コイル106及び螺旋状コイル109の長さを長くすると共に直径を大きくする必要があるため、インダクタンスひいてはリアクタンスの一層の増大が避けられない。

【0018】第3の従来例は、前記の問題点を解決するために提案され、第1の従来例における渦巻き状コイル106に代えて、マルチスパイラルコイル110を設けることにより、インピーダンスの低減を図るものである。インピーダンス整合をとりやすいので、プラズマ放電が起こりやすくなる。

【0019】しかしながら、第3の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置において、プラズマの電子温度を制御するべく高い周波数の30~300MHz程度のVHF帯の高周波電力を用いる場合には、約20mTorrよりも低い圧力下つまり高真空度の下ではプラズマを発生させることが困難であるという問題に直面した。

【0020】このように、従来の誘導結合型プラズマ処理装置においては、プラズマの電子温度を制御するべく、高い周波数の高周波電力を印可すると、高真空度の圧力下で高密度プラズマを発生させることができないので、高均一で且つ低ダメージのプラズマ処理を高精度に行なうことができないという問題がある。

【0021】前記に鑑み、本発明は、周波数の高い高周

波電力を効率良く供給できる高周波電力印加装置を提供することを第1の目的とする。

【0022】また、周波数の高い高周波電力を印可しても、高真空度の圧力下においてプラズマを発生することができるプラズマ発生装置及びプラズマ発生方法を提供することを第2の目的とする。

【0023】さらに、高均一で且つ低ダメージのプラズマ処理を高精度に行なうことができるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することを第3の目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明は、コイルの長さを、該コイルに印加される高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍にすると、初期放電が起こりやすくなって、プラズマが発生しやすくなることを見出し、該知見に基づいてなされたものである。

【0025】本発明に係る高周波電力印加装置は、高周波電力を発生させる高周波電力発生源と、前記高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持ち、前記高周波電力発生源から高周波電力を供給されて高周波電流が流れると磁界を発生するコイルと、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器とを備えている。

【0026】本発明に係る高周波電力印加装置によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、コイルに定在波がたちやすいため、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなる。

【0027】本発明に係る高周波電力印加装置において、前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることが好ましい。

【0028】また、前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長のほぼ $1/4$ 又はほぼ $1/2$ であることがより好ましい。

【0029】また、前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ 又は $1/2$ に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることがより好ましい。

【0030】また、前記高周波電力の周波数は $30\text{MHz} \sim 300\text{MHz}$ であることが好ましい。

【0031】また、前記インピーダンス整合器は、少なくとも2個の可変コンデンサにより構成されていることが好ましい。

【0032】また、前記コイルは、それぞれが前記高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つと共にコイル中心に対して点対称に配置された複数のコイル部分により構成されていることが好ましい。

【0033】この場合、前記複数のコイル部分は、同一の円周上に位置する円弧部をそれぞれ有していることが

より好ましい。

【0034】また、前記コイルは、平面的な渦巻き状に形成されていることが好ましい。この場合、平面的な渦巻き状とは、一の平面上において外側に向かうにつれて径が徐々に大きくなるように連続して延びる形状を意味する。

【0035】また、前記コイルは、立体的な渦巻き状又は螺旋状に形成されていることが好ましい。この場合、立体的な渦巻き状とは、外側に向かうにつれて径が徐々に大きくなりながら径に対して垂直な方向に連続して延びる形状を意味し、立体的な螺旋状とは、同一の径を保ちながら径に対して垂直な方向に連続して延びる形状を意味する。する本発明に係るプラズマ発生装置は、内部が真空状態に保持されるチャンバーと、前記チャンバー内に気体を導入する気体導入手段と、高周波電力を発生させる高周波電力発生源と、前記高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持ち、前記高周波電力発生源から高周波電力を供給されて高周波電流が流れると、前記チャンバー内に導入された気体をプラズマ化する磁界を発生させるコイルと、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器とを備えている。

【0036】本発明に係るプラズマ発生装置によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、前述したように、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなる。

【0037】本発明に係るプラズマ処理装置は、内部が真空状態に保持されるチャンバーと、前記チャンバー内に設けられており、被処理物を保持する試料台と、前記チャンバー内に気体を導入する気体導入手段と、高周波電力を発生させる高周波電力発生源と、前記高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持ち、前記高周波電力発生源から高周波電力を供給されて高周波電流が流れると、前記チャンバー内に導入された気体をプラズマ化する磁界を発生させるコイルと、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器とを備えている。

【0038】本発明に係るプラズマ処理装置によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、前述したように、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなる。

【0039】本発明に係るプラズマ処理装置において、前記チャンバーと電気的に絶縁された高周波電圧及び定電圧のうちの少なくとも1つの電圧を前記試料台に印加する電圧印加手段をさらに備えていることが好ましい。

【0040】この場合、前記高周波電力発生源より発生する高周波電力をパルス変調する第1のパルス変調器



と、前記電圧印加手段により印加される電圧をパルス変調する第2のパルス変調器とをさらに備えていることがより好ましい。

【0041】本発明に係る高周波電力印加方法は、高周波電力発生源より発生する高周波電力を、該高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つコイルに、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器を介して印加する工程と、前記コイルに流れる高周波電流により該コイルに磁界を発生させる工程とを備えている。

【0042】本発明に係る高周波電力印加方法によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、コイルに定在波がたちやすいため、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなる。

【0043】本発明に係る高周波電力印加方法において、前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることが好ましい。

【0044】また、前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長のほぼ $1/4$ 又はほぼ $1/2$ であることがより好ましい。

【0045】また、前記コイルの長さは、前記高周波電力の波長の $1/4$ 又は $1/2$ に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあることがより好ましい。

【0046】また、前記高周波電力の周波数は $30\text{MHz} \sim 300\text{MHz}$ であることが好ましい。

【0047】また、前記インピーダンス整合器は、少なくとも2個の可変コンデンサにより構成されていることが好ましい。

【0048】また、前記コイルは、それぞれが前記高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つと共にコイル中心に対して点対称に配置された複数のコイル部分により構成されていることがより好ましい。

【0049】この場合、前記複数のコイル部分は、同一の円周上に位置する円弧部をそれぞれ有していることがより好ましい。

【0050】また、前記コイルは、平面的な渦巻き状に形成されているが好ましい。

【0051】また、前記コイルは、立体的な渦巻き状又は螺旋状に形成されていることが好ましい。

【0052】本発明に係るプラズマ発生方法は、内部が真空状態に保持されるチャンパー内に気体を導入する工程と、高周波電力発生源より発生する高周波電力を、該高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つコイルに、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器を介して印加する工程と、前記コイルに流れる高周波電流により前記コイルに磁界を発生させる工程と、前記コイルにより発生した磁界により、前記チャンパー内に導入された気体

をプラズマ化する工程とを備えている。

【0053】本発明に係るプラズマ発生方法によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、前述したように、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなる。

【0054】本発明に係るプラズマ処理方法は、内部が真空状態に保持されるチャンパー内に設けられた試料台に被処理物を保持させる工程と、前記チャンパー内に気体を導入する工程と、高周波電力発生源より発生する高周波電力を、該高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つコイルに、前記高周波電力発生源と前記コイルとのインピーダンス整合をとるインピーダンス整合器を介して印加する工程と、前記コイルに流れる高周波電流により前記コイルに磁界を発生させる工程と、前記コイルにより発生した磁界により、前記チャンパー内に導入された気体をプラズマ化する工程と、プラズマ化した気体により前記試料台に保持されている被処理物に対して処理を行なう工程とを備えている。

【0055】本発明に係るプラズマ処理方法によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、前述したように、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなる。

【0056】本発明に係るプラズマ処理方法において、前記試料台に、前記チャンパーと電気的に絶縁された高周波電圧及び定電圧のうちの少なくとも1つの電圧を印加する工程をさらに備えていることが好ましい。

【0057】この場合、前記コイルに印加される高周波電力をパルス変調する工程と、前記試料台に印加される電圧をパルス変調する工程とをさらに備えていることがより好ましい。

【0058】

【発明の実施の形態】以下、本発明の各実施形態に係る高周波電力印加装置、プラズマ発生装置及びプラズマ処理装置について、図面を参照しながら説明する。

【0059】(第1の実施形態) 図1(a)は本発明の第1の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示しており、図2は第1の実施形態に係るプラズマ処理装置に用いられる高周波電力印加装置の概略構成を示している。

【0060】図1(a)において、10Aは円筒状のチャンパーであって、該チャンパー10Aの内部は所定の圧力に保持される。図示は省略しているが、チャンパー10Aには、該チャンパー10A内に気体を導入する気体導入手段、該チャンパー10A内の気体を排出する排気手段及び該チャンパー10A内に被処理物を出し入れする搬入手段がそれぞれ設けられている。

【0061】チャンパー10A内の底部には、絶縁体11を介して下部電極(試料台)12が設けられており、

10

20

30

40

50

該下部電極12は、エッチングや膜堆積を行なう半導体ウエハ等の被処理物13を保持する。

【0062】チャンパー10Aの上方には、例えば周波数100MHzの高周波電力を出力する第1の高周波電源14が設けられていると共に、各一端がそれぞれ接地された4本の渦巻き状のコイル部分15a（図1（b）を参照）が電氣的に並列に接続されてなるマルチスパイラルコイル15Aが設けられている。第1の高周波電源14はインピーダンス整合器16Aを介してコイル部分15aの各他端に共通に接続されている。

【0063】第1の実施形態に係るプラズマ処理装置に用いられる高周波電力印加装置は、第1の高周波電源14とインピーダンス整合器16Aとマルチスパイラルコイル15Aとから構成されており、第1の高周波電源14により発生する高周波電力をインピーダンス整合器16Aを介してマルチスパイラルコイル15Aに印加する。

【0064】第1の実施形態の特徴として、マルチスパイラルコイル15Aを構成する各コイル部分15aの1本当たりの長さは、第1の高周波電源14から供給される高周波電力の波長（3m）の1/4である75cmに設定されている。

【0065】チャンパー10Aの下方には第2の高周波電源17が設けられている。第2の高周波電源17は、チャンパー10A及び絶縁体11とは電氣的に絶縁されている一方、下部電極12とは電氣的に接続されており、チャンパー10A内に生成されるプラズマに対して高周波バイアス電圧を印加する。第2の高周波電源17は、チャンパー10A内に生成されるプラズマに対して高周波バイアス電圧を印加するためのものであって、該高周波バイアス電圧を発生させる高周波電力としては、通常、数100kHzから13.56MHzまでの周波数が使用される。

【0066】尚、安全のために、通常、第1の高周波電源14、第2の高周波電源17及びマルチスパイラルコイル15Aの接地電位はチャンパー10Aと同電位にとられている。

【0067】以下、前記の高周波電力印加装置及びプラズマ処理装置を用いてプラズマ処理を行なう方法について説明する。

【0068】まず、図示しない搬入手段により被処理物13をチャンパー10Aに搬入して下部電極12の上に保持する。その後、図示しない気体導入手段より気体をチャンパー10A内に導入すると共に図示しない排気手段によりチャンパー10A内の気体を排出することにより、チャンパー10Aの内部を所定の圧力に維持する。

【0069】次に、第1の高周波電源14から高周波電力をマルチスパイラルコイル15Aに印加すると共に、第2の高周波電源17から高周波電力を下部電極12に

印加する。このようにすると、マルチスパイラルコイル15Aに印加される高周波電力によりマルチスパイラルコイル15Aには高周波電流が流れ、該高周波電流により発生する交番磁界がチャンパー10A内の空間に作用するので、チャンパー10A内の空間に存在する電子はマルチスパイラルコイル15Aにより発生する磁界を打ち消すような磁界を発生させる方向に移動する。この誘導結合によって電子が移動することによりチャンパー10A内の気体がプラズマ化する。この場合、インピーダンス整合器16はプラズマに対してインピーダンス整合をとるので、安定なプラズマ放電を起こすことができる。

【0070】チャンパー10A内に生成されたプラズマを被処理物13に作用させることにより、被処理物13の表面酸化、表面窒化及び不純物ドーブ等の表面改質、並びに被処理物13の表面での薄膜形成及び等方性ドライエッチングが可能となる。

【0071】また、第2の高周波電源17により下部電極12に印加される交流バイアス電圧によって生じるV<sub>pp</sub>（Peak-to-Peak電圧）及びV<sub>dc</sub>（下部電極12の直流電位）を用いると、プラズマ中のイオンを効率良く被処理物13に照射できるので、異方性のドライエッチングによる微細加工が実現できる。

【0072】被処理物13に対する処理が終了した時点で、第1の高周波電源14及び第2の高周波電源17からの高周波電力の供給を終了した後、チャンパー10A内への気体導入を終了すると共にチャンパー10A内の残留気体を排出し、その後、被処理物13をチャンパー10Aの外部に取り出すと、プラズマ処理は完了する。

【0073】以下、マルチスパイラルコイル15Aの各コイル部分15aの長さを第1の高周波電源14から供給される高周波電力の波長の1/4に設定した理由について詳しく説明する。

【0074】一般に、高周波電力の周波数が高くなるに伴って波長が短くなり、また高周波電力が伝搬する物体のディメンジョンと高周波電力の波長とが近くなると波長の効果が発生してくる。すなわち、高周波電力が伝搬する物体のディメンジョンが、高周波電力の1/4波長、1/2波長又は1波長等のような1/4波長の整数倍になると、一種の共鳴現象（共振現象）が現れる。これを積極的に利用したものがアンテナや受信機である。通常、アンテナは終端が開放端になっており、アンテナ周辺の媒質と結合してアンテナの構造に共鳴する電磁波のみが、アンテナの終端から周辺の媒質に放射されたり又は周辺の媒質からアンテナの終端に吸収されたりする。

【0075】アンテナとは異なり、コイルに高周波電流を流すような高周波伝搬方式、すなわちコイルにおける高周波印加側と反対側の端部が接地されている方式においても、コイルの長さが高周波電力の波長の1/4の整

10

20

30

40

50

数倍であれば、コイルに定在波が立ちやすいので、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなると考えられる。前述したように、誘導結合型プラズマ発生装置においては、放電が開始するまでの過渡的な状況においては、コイルに発生する電圧によりチャンバー内に励起される電界によってチャンバー内の電子が加速される。すなわち、容量結合により放電が開始し、この放電が引き金となってなだれ現象的に電離が進行し、電子密度がある程度にまで大きくなると誘導結合状態に移行して放電が維持されるのである。従って、コイルに発生する電圧のピーク値が大きいほど、放電が開始しやすくなる。

【0076】以上説明したように、コイル1本当たりの長さが高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍になると、コイルに定在波が立ちやすいため、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなるので、放電が始まりやすく、プラズマが発生しやすいと考えられる。

【0077】また、コイルの長さが長くなると、コイルのインピーダンスのレジスタンス成分が増加して電力効率が低下するため、放電しにくくなると考えられる。すなわち、コイルの長さが高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍であっても、波長の $1/4$ のときに最も放電が開始しやすく、次に波長の $1/2$ のときに放電が開始しやすく、その次に波長の $3/4$ のときに放電が開始しやすいというように、コイル1本当たりの長さが短いほど、放電が開始しやすい。

【0078】大面積にわたって均一なプラズマを形成して被処理物を均一性良く処理するためには、コイルの直径が被処理物の直径の $1.5 \sim 2$ 倍程度であることが必要になってくる。

【0079】また、大面積にわたって均一なプラズマを形成するためには、コイルの直径が大きいだけでなく、コイルの巻数も重要である。渦巻きの巻数が2であるコイルを4つ並列に接続して多重度4のマルチスパイラルコイルを形成すると、渦巻きの巻き数が8である1本の渦巻き状コイルと同等の均一性を実現できる。

【0080】従って、マルチスパイラルコイルを用いると、コイルの長さを短くしてプラズマが発生しやすくと共に、大面積にわたって均一なプラズマを発生させることができる。すなわち、マルチスパイラルコイルを用いると、波長の効果をより有効に利用することができる。

【0081】以下、第1の実施形態の効果を確認するためにに行った評価テストについて説明する。

【0082】気体として $C_4F_8$ ガスをチャンバー10A内に導入すると共にチャンバー10A内を $20\text{mTorr}$ に保ちながらプラズマを発生させ、また、下部電極12に高周波バイアス電圧を印加したところ、下部電極12の上に保持された被処理物であるシリコン酸化膜にエッチングを行なうことができた。

【0083】次に、気体としてアルゴンガスをチャンバ

ー10A内に導入すると共に、第1の高周波電源14から供給する高周波電力を変化させて、チャンバー10A内の圧力がどれくらい高ければ放電が開始するかを調べた。高周波電力が $200\text{W}$ のときには圧力が $24\text{mTorr}$ 以上で放電が開始し、高周波電力が $300\text{W}$ のときには圧力が $20\text{mTorr}$ 以上で放電が開始し、高周波電力が $400\text{W}$ のときには圧力が $18\text{mTorr}$ 以上で放電が開始した。つまり、印加する高周波電力が大きいほど、放電が開始する最低圧力が低下した。

【0084】次に、高周波電力が $200\text{W}$ 、 $300\text{W}$ 及び $400\text{W}$ の場合において、コイル1本当たりの長さを様々に変化させながら、放電が開始する最低圧力を調べた。その結果を図3に示す。図3から明らかなように、高周波電力の大きさが同じならば、コイルの長さが高周波電力の波長の $1/4$ 及び $1/2$ のときに、放電が開始する最低圧力が低い、すなわち、この場合に放電が開始しやすいということがわかる。

【0085】図4は、コイル1本当たりの長さをさらに大きく変化した場合における、コイル1本当たりの長さで放電が開始する最低圧力との関係を示している。図4から分かるように、コイル1本当たりの長さが高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍のときに放電が開始しやすく、また、高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍であっても、波長の $1/4$ のときに最も放電が開始しやすく、波長の $1/2$ のときにその次に放電が開始しやすく、波長の $3/4$ のときにその次に放電が開始しやすい。すなわち、放電の開始しやすさのコイル1本当たりの長さに対する依存性は、コイル1本当たりの長さが短いほど顕著になっている。マルチスパイラルコイルを用いると、単純な渦巻き状コイルに比べてコイルの長さを短くできるため、放電がより開始しやすいということが確認できる。

【0086】尚、第1の実施形態におけるコイルの長さの説明において、「高周波電力の波長の $1/4$ の整数倍」という表現を用いたが、コイルの長さは、高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍であればよく、具体的には波長の $1/4$ の整数倍に対して $\pm 7\%$ 程度の範囲内であれば、効果があることが確かめられている。

【0087】(第2の実施形態) 図5は本発明の第2の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示している。第2の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0088】第2の実施形態の特徴として、第1の実施形態におけるマルチスパイラルコイル15Aに代えて、単純な渦巻き状コイル15Bが設けられている。第2の実施形態は、第1の実施形態に比べて、大きな面積のプラズマを形成するという点においては不利であるが、逆に小さな面積のプラズマを形成するという点においては有利である。第2の実施形態においても、渦巻き状コイ

ル15Bの長さは、高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍であればよい。

【0089】(第3の実施形態)図6は本発明の第3の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示している。第3の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0090】第3の実施形態の特徴として、第1の実施形態におけるマルチスパイラルコイル15Aに代えて、円筒形のチャンバー10Aの側方に螺旋状に巻かれた1本の螺旋状コイル15Cが設けられている。第3の実施形態においても、螺旋状コイル15Cの長さは、高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍であればよい。

【0091】(第4の実施形態)図7は本発明の第4の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示しており、図8は第4の実施形態に係るプラズマ処理装置に用いられる高周波電力印加装置の概略構成を示している。第4の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0092】第4の実施形態の特徴として、第3の実施形態における1本の螺旋状コイル15Cに代えて、4本の螺旋状のコイル部分15dが並列に接続されてなるマルチスパイラルコイル15Dが設けられている。マルチスパイラルコイル15Dによると、第1の実施形態と同様、コイル部分15dの多重化によって各コイル部分15dの長さを短くできるという利点が得られる。並列に接続する各コイル部分15dの長さは高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍であればよく、コイル部分15dの本数つまり多重度は2以上のいずれも可能である。

【0093】(第5の実施形態)図9は本発明の第5の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示している。第5の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0094】第5の実施形態の特徴として、第3の実施形態における円筒状のチャンバー10Aに代えて、半球状のドーム部を有する円筒状のチャンバー10Bが設けられ、これに伴って、第3の実施形態における同径の円形よりなる螺旋状コイル15Cに代えて、中央部から下方に位置する同径の複数の円形状のコイル部分と、中央部から上方に位置しており上方に向かうにつれて径が徐々に小さくなる複数の円形状のコイル部分とから構成される螺旋状コイル15Eが設けられている。これにより、螺旋状コイル15Eは、被処理物13の側方のみならず、被処理物13と対向する面にも設けられている。第5の実施形態においても、螺旋状コイル15Eの長さは、高周波電力の波長の $1/4$ の実質的な整数倍であればよい。また、螺旋状コイル15Eの本数つまり多重度を増して、マルチスパイラルコイルにしてもよい。

【0095】(第6の実施形態)図10は本発明の第6の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示している。第6の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0096】第6の実施形態の特徴として、第2の実施形態と同様の渦巻き状コイル15Bが設けられていると共に、通常のインピーダンス整合器16Aに代えて、2個の可変コンデンサ $C_1$ 及び $C_2$ よりなるインピーダンス整合器16Bが設けられている。

【0097】(第7の実施形態)図11は本発明の第7の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示しており、図12は第7の実施形態に係るプラズマ処理装置に用いられる高周波電力印加装置の概略構成を示している。第7の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0098】第7の実施形態の特徴として、第1の実施形態と同様のマルチスパイラルコイル15Aが設けられていると共に、通常のインピーダンス整合器16Aに代えて、2個の可変コンデンサ $C_1$ 及び $C_2$ よりなるインピーダンス整合器16Bが設けられている。

【0099】尚、第3～第5の実施形態に係る通常のインピーダンス整合器16Aに代えて、第1又は第2の実施形態と同様、2個の可変コンデンサ $C_1$ 及び $C_2$ よりなるインピーダンス整合器16Bを設けてもよい。

【0100】一般に、インピーダンス整合器は、周波数が高くなるに従ってその構成が異なってくる。従来においては、およそ50MHz以下の周波数領域においては、可変コンデンサや可変インダクタを用いたインピーダンス整合器が利用されているが、50MHzを超える高い周波数領域ではインピーダンス整合の困難さに起因して過渡電流が流れやすいので、可変コンデンサや可変インダクタを用いたインピーダンス整合器によりインピーダンス整合はとりにくい。そこで、従来、100MHz以上の高い周波数領域ではインピーダンス整合器としてはスタブが使用されてきたが、スタブは、安定性、制御性及び信頼性の点で劣っているため、実用上という点においては、可変コンデンサよりなるインピーダンス整合器が好ましい。

【0101】ところが、第1～第5の実施形態においては、コイル1本当たりの長さを高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍に設定したため、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなるので、50MHzを超える高い周波数の高周波電力を印可しても、プラズマが発生しやすいため、2個の可変コンデンサ $C_1$ 及び $C_2$ よりなるインピーダンス整合器16Bを用いることができる。

【0102】第1～第5の実施形態において、第1の高周波電源14から30～300MHzの高周波電力を印可すると共に、2個の可変コンデンサ $C_1$ 及び $C_2$ より

なるインピーダンス整合器16Bによりインピーダンス整合をとってプラズマ放電を起こさせたところ、インピーダンス整合の良好な特性と安定したプラズマ放電を再現性良く得られることが分かった。

【0103】(第8の実施形態)図13(a)、(b)は本発明の第8の実施形態に係る高周波電力印加装置の概略構成を示している。

【0104】第8の実施形態に係る高周波電力印加装置は、それぞれがコイル中心部から外方へ直線状に延びた後、円周に沿って円周長さの $1/4$ だけ円弧状に延びており、各円弧部が同一の円周上に位置する4本のコイル部分15fが並列に接続された構造のマルチスパイラルコイル15Fと、該マルチスパイラルコイル15Fの中心部に高周波電力を印可する第1の高周波電源14と、図示しないインピーダンス整合回路とを備えている。

【0105】図13(a)に示すマルチスパイラルコイル15Fにおいては、該マルチスパイラルコイル15Fのコイル部分15fは、それぞれが第1の高周波電源14から発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを有していると共に、コイル部分15fの各円弧部同士の間には若干の隙間を有している。また、図13

(b)に示すマルチスパイラルコイル15Fにおいては、該マルチスパイラルコイル15Fのコイル部分15fは、それぞれが第1の高周波電源14から発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを有していると共に、各円弧部同士が径方向から見て重なっているが電気的には互いに絶縁されている。このように4本のコイル部分15fが並列に接続されてなる構造を採用すると、前記のマルチスパイラルコイル15Aと同様、コイル1本当たりの長さを極めて短くすることができる。

【0106】(第9の実施形態)図14は本発明の第9の実施形態に係る高周波電力印加装置の概略構成を示している。

【0107】第9の実施形態に係る高周波電力印加装置は、それぞれがコイル中心部から外方へ曲線状に延びた後、円周に沿って円周長さの $1/4$ だけ円弧状に延びており、各円弧部が同一の円周上に位置する4本のコイル部分15gが並列に接続された構造のマルチスパイラルコイル15Gと、該マルチスパイラルコイル15Gの中心部に高周波電力を印可する第1の高周波電源14と、図示しないインピーダンス整合回路とを備えている。マルチスパイラルコイル15Gのコイル部分15gは、それぞれが第1の高周波電源14から発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを有している。このように4本のコイル部分15gが並列に接続されてなる構造を採用すると、前記のマルチスパイラルコイル15Aと同様、コイル1本当たりの長さを極めて短くすることができる。

【0108】(第10の実施形態)図15(a)、

(b)は本発明の第10の実施形態に係る高周波電力印

加装置の概略構成を示している。

【0109】第10の実施形態に係る高周波電力印加装置は、第8の実施形態と同様の形状を有し、中心部が接地されている4本のコイル部分15fが並列に接続された構造のマルチスパイラルコイル15Fと、該マルチスパイラルコイル15Fの外端部にそれぞれ高周波電力を印可する4つの第1の高周波電源14と、図示しないインピーダンス整合回路とを備えている。図15(a)は図13(a)と対応し、図15(b)は図13(b)と対応している。

【0110】(第11の実施形態)図16は本発明の第11の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示している。第11の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0111】第11の実施形態の特徴として、下部電極12に高周波バイアス電圧を印加する第2の高周波電源17に定電圧源18が直列に接続されている。第11の実施形態によると、下部電極12に、高周波電力のみ、定電圧のみ又は高周波電力と定電圧の両方を印加することが可能となり、高周波バイアス電圧のみならず直流バイアス電圧を制御することができるので、プラズマ処理に使用するイオンエネルギーの制御が一層容易になると共に、イオンエネルギーの微妙な調節及び制御が可能になる。このため、プラズマ処理の制御性が大きく向上する。

【0112】(第12の実施形態)図17は本発明の第12の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示している。第12の実施形態においては、図1(a)に示した第1の実施形態と同様の部材については同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0113】第12の実施形態の特徴として、第11の実施形態と同様に、下部電極12に高周波バイアス電圧を印加する第2の高周波電源17に定電圧源18が直列に接続されている。また、第1の高周波電源14により印加される高周波電力をパルス変調する第1のパルス変調器19が設けられていると共に、第2の高周波電源17により印加されるバイアス電圧をパルス変調する第2のパルス変調器20が設けられている。

【0114】第12の実施形態によると、第1のパルス変調器19によって、第1の高周波電源14により印加される高周波電力をパルス変調することができるため、第11の実施形態に比べて、生成されるプラズマの解離度の制御、プラズマの組成(ラジカル種及びイオン種の成分比率)の制御等のプラズマ状態の制御能力が飛躍的に向上する。

【0115】また、第2のパルス変調器20によって、第2の高周波電源17により印加される高周波電力、定電圧又は高周波電力と定電圧の両方をパルス変調することができるため、下部電極12に、パルス変調された高

10

20

30

40

50

周波バイアス電圧のみ、パルス変調された直流バイアス電圧のみ又はパルス変調された高周波バイアスとパルス変調された直流バイアスの両方を印加してプラズマ処理を行なうことが可能になる。このため、第11の実施形態に比べて、被処理物13に照射するイオンエネルギーの制御性が飛躍的に向上する。

【0116】また、第1のパルス変調器19及び第2のパルス変調器20の両方を動作させる場合には、第1のパルス変調器19によってプラズマの解離度及びプラズマの組成の制御を行ないつつ、第2のパルス変調器20によってイオンエネルギー又は正負イオン種の被処理物13への照射の制御を行なうことができるので、ラジカル及びイオンが質的及び量的に制御されたプラズマ処理を行なうことが可能になる。

【0117】さらに、第1のパルス変調器19及び第2のパルス変調器20の両方を使用する場合には、各パルス変調器のパルス変調周波数を同期すると、制御性の高いプラズマ処理を行なうことが可能になる。

【0118】尚、第1～第12の実施形態において、プラズマ処理の内容に応じて、第1の高周波電源14に定電圧源を直列に接続して、各コイル15A～15Gに直流電圧を印加してもよい。

【0119】また、第1～第12の実施形態におけるコイル15A～15Gの材料として、銅等の導電性の高い金属を用いれば安価にコイルを作成することができる。

【0120】また、コイル15A～コイル15Gを形成する素材としては、帯板状、棒状又は管状等いずれの形状でもよいが、表面積の大きい方が好ましい。帯板状の素材によりコイルを形成する場合には、コイル材料の使い方としては、帯板の厚さ面がチャンバーと対向してもよいし、帯板の幅面がチャンバーと対向してもよい。帯板の幅面がチャンバーと対向するようにコイルを形成する場合には、帯板の幅面の大きさを定めることにより、チャンバー内の空間とコイルとの容量結合性を調整することが可能になるので、誘導結合と容量結合との度合いを制御することができる。

【0121】また、チャンバーの壁を構成する材料としては、コイルにより生成される磁界をチャンバーの中に伝搬させることが可能な誘電体（絶縁体）を用いる必要があり、具体的には、石英（ $\text{SiO}_2$ ）やセラミック等の材料が好ましい。

【0122】

【発明の効果】本発明に係る高周波電力印加装置又は高周波電力印加方法によると、コイルの長さを、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍にしたため、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなるので、高周波電力の周波数が高い場合でも、高周波電力を効率良く供給することができる。

【0123】本発明に係る高周波電力印加装置又は高周波電力印加方法において、コイルの長さが、高周波電力

の波長の $1/4$ の整数倍に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあると、コイルに確実に定在波がたつので、コイルの発生する電圧のピーク値を確実に大きくすることができる。

【0124】また、コイルの長さが、高周波電力の波長のほぼ $1/4$ 又はほぼ $1/2$ であると、コイルの長さが短くてすむため、コイルのインピーダンスのレジスタンス成分を抑制できるので、高周波電力の供給効率が向上する。従って、この高周波電力印加装置をプラズマ発生装置に適用したり、又はこの高周波電力印加方法をプラズマ発生方法に適用したりすると、放電が開始しやすくなってプラズマが発生しやすくなる。

【0125】また、コイルの長さが、高周波電力の波長の $1/4$ 又は $1/2$ に対して $\pm 7\%$ の範囲内にあると、高周波電力の供給効率を向上させつつコイルに発生する電圧のピーク値を大きくすることができる。

【0126】また、高周波電力の周波数が $30\text{MHz} \sim 300\text{MHz}$ であると、従来においては、リアクタンスが増大してインピーダンス整合をとることが困難であるために高周波電力の供給効率が低下したが、本発明によると、周波数が $30\text{MHz} \sim 300\text{MHz}$ の高周波電力を効率良く供給することができる。従って、この高周波電力印加装置をプラズマ発生装置に適用したり、又はこの高周波電力印加方法をプラズマ発生方法に適用したりすると、プラズマの電子温度の制御が容易になる。

【0127】また、インピーダンス整合器が、少なくとも2個の可変コンデンサにより構成されていると、インピーダンス整合器の安定性、制御性及び信頼性が向上する。

【0128】また、コイルが、高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つと共にコイル中心に対して点対称に配置された複数のコイル部分により構成されていると、つまりマルチスパイラルコイルにすると、連続した1本のシングルスパイラルコイルに比べて、各コイル部分の長さを短くできるため、コイルのインピーダンスのレジスタンス成分を抑制できるので、高周波電力の供給効率が向上する。従って、この高周波電力印加装置をプラズマ発生装置に適用したり、この高周波電力印加方法をプラズマ発生方法に適用したりすると、放電が開始しやすくなってプラズマが発生しやすくなると共に、コイルの直径を容易に大きくできるため大面積に亘って均一なプラズマを発生させることができるので、被処理物を均一性良く処理することができる。

【0129】この場合、複数のコイル部分が、同一の円周上に位置する円弧部をそれぞれ有していると、マルチスパイラルコイルを構成する各コイル部分の長さを一層短くできるので、高周波電力の供給効率を一層向上させたり、大面積に亘って一層均一なプラズマを発生させたりすることができる。

【0130】また、コイルが平面的な渦巻き状に形成されていると、高周波電力印加装置をプラズマ処理装置に



適用する場合に、コイルを被処理物と対向させやすい。

【0131】また、コイルが、立体的な渦巻き状又は螺旋状に形成されていると、高周波電力印加装置をプラズマ処理装置に適用する場合に、コイルをチャンバーの周囲に配置しやすくなる。

【0132】本発明に係るプラズマ発生装置又はプラズマ発生方法によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、コイルに発生する電圧のピーク値が大きくなって、チャンバー内の電子を効果的に加速できるので、周波数の高い高周波電力を印可しても高真空度の圧力下においてプラズマを発生することができる。

【0133】本発明に係るプラズマ処理装置又はプラズマ処理方法によると、コイルが、高周波電力発生源より発生する高周波電力の波長の $1/4$ のほぼ整数倍の長さを持つため、周波数の高い高周波電力を印可しても高真空度の圧力下においてプラズマを発生することができるので、高均一で且つ低ダメージのプラズマ処理を高精度に行なうことができる。

【0134】本発明に係るプラズマ処理装置が、チャンバーと電気的に絶縁された高周波電圧及び定電圧のうちの少なくとも1つの電圧を試料台に印加する電圧印加手段を備えている場合、又は、本発明に係るプラズマ処理方法が、チャンバーと電気的に絶縁された高周波電圧及び定電圧のうちの少なくとも1つの電圧を試料台に印加する工程を備えている場合には、プラズマ処理に使用するイオンエネルギーの制御が容易になると共にイオンエネルギーの微妙な調整及び制御が可能になるので、プラズマ処理の制御性が向上する。

【0135】この場合、高周波電力発生源より発生する高周波電力をパルス変調すると、生成されるプラズマの解離度の制御性やプラズマの組成の制御性等が向上する。また、電圧印加手段により印加される電圧をパルス変調すると、パルス変調された高周波バイアス電圧やパルス変調された直流バイアス電圧等を試料台に印加できるので、ラジカル及びイオンが質的及び量的に制御されたプラズマ処理を行なうことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明の第1の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図であり、(b)は前記第1の実施形態に係るプラズマ処理装置におけるマルチスパイラルコイルのコイル部分の平面図である。

【図2】前記第1の実施形態に係るプラズマ処理装置に用いられる高周波電力印加装置の概略構成図である。

【図3】前記第1の実施形態に係るプラズマ処理装置において、高周波電力を変化させた場合におけるマルチスパイラルコイルのコイル部分1本当たりの長さとは放電が開始する最低圧力との関係を示す特性図である。

【図4】前記第1の実施形態に係るプラズマ処理装置におけるマルチスパイラルコイルのコイル部分1本当たり

の長さとは放電が開始する最低圧力との関係を示す特性図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図6】本発明の第3の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図7】本発明の第4の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図8】前記第4の実施形態に係るプラズマ処理装置に用いられる高周波電力印加装置の概略構成図である。

【図9】本発明の第5の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図10】本発明の第6の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図11】本発明の第7の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図12】前記第7の実施形態に係るプラズマ処理装置に用いられる高周波電力印加装置の概略構成図である。

【図13】(a)、(b)は本発明の第8の実施形態に係る高周波電力印加装置の概略構成図である。

【図14】本発明の第9の実施形態に係る高周波電力印加装置の概略構成図である。

【図15】(a)、(b)は本発明の第10の実施形態に係る高周波電力印加装置の概略構成図である。

【図16】本発明の第11の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図17】本発明の第12の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成図である。

【図18】第1の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置の概略構成図である。

【図19】第2の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置の概略構成図である。

【図20】第3の従来例に係る誘導結合型プラズマ処理装置の概略構成図である。

#### 【符号の説明】

10A、10B チャンバー

11 絶縁体

12 下部電極

13 被処理物

14 第1の高周波電源

15A 15D 15F マルチスパイラルコイル

15B 渦巻き状コイル

15C 15E 螺旋状コイル

15a 15d 15f 15g コイル部分

16A、16B インピーダンス整合器

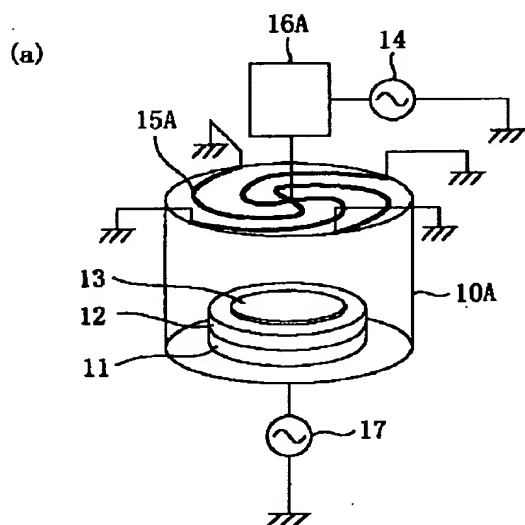
17 第2の高周波電源

18 定電圧源

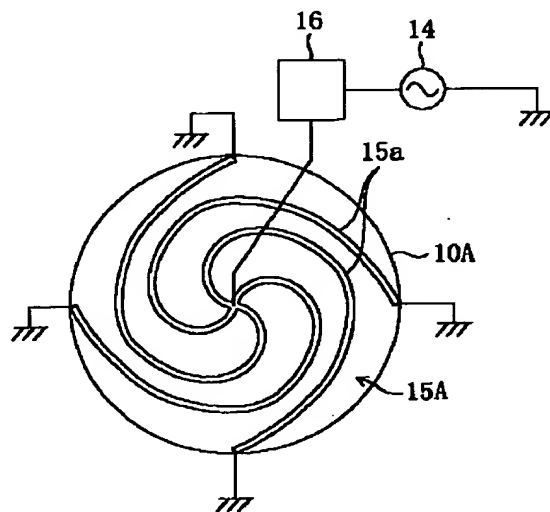
19 第1のパルス変調器

20 第2のパルス変調器

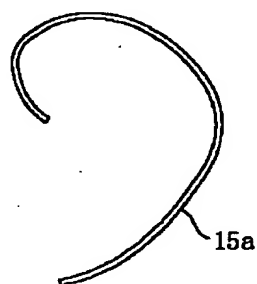
【図1】



【図2】

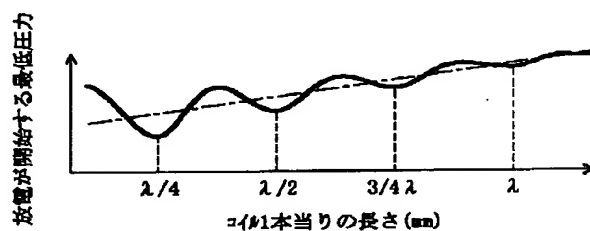


(b)

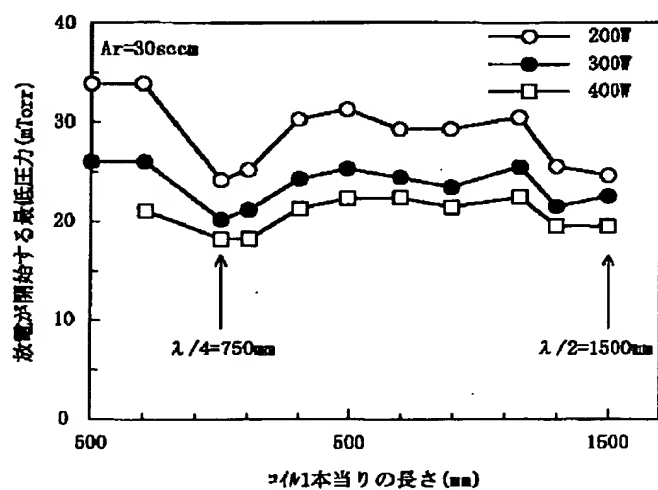


1つのコイルの長さが  
実質的に高周波電力の  
周波数の波長の  
1/4の整数倍

【図4】

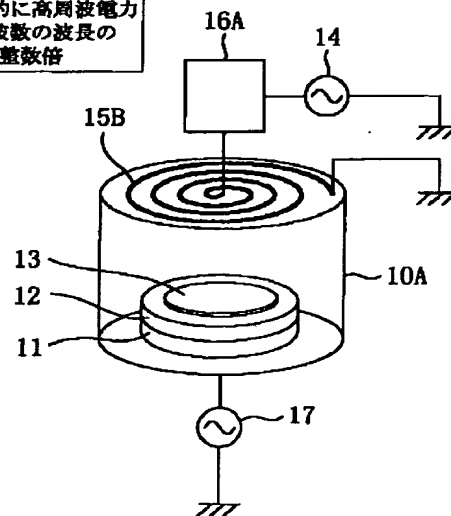


【図3】



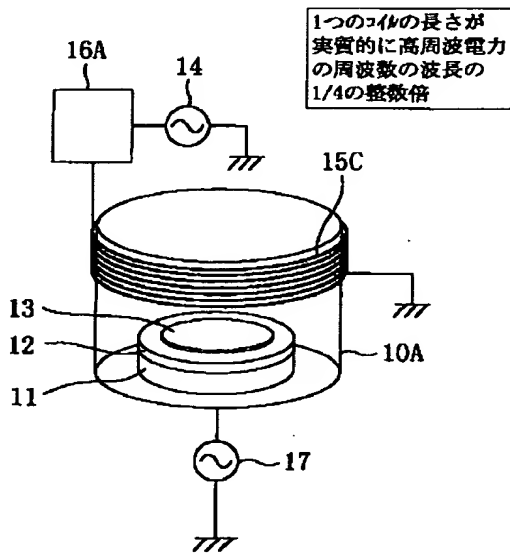
【図5】

1つのコイルの長さが  
実質的に高周波電力の  
周波数の波長の  
1/4の整数倍

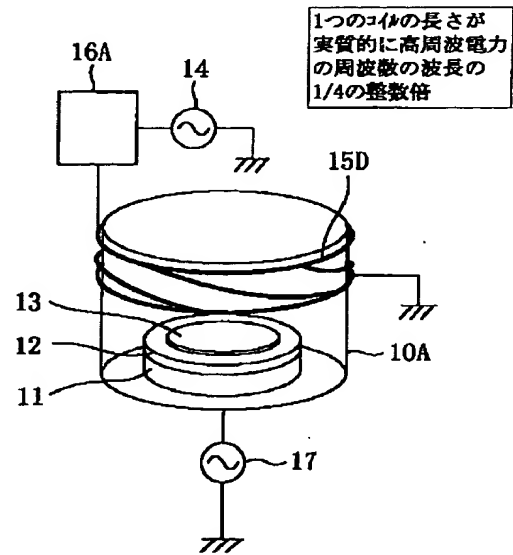




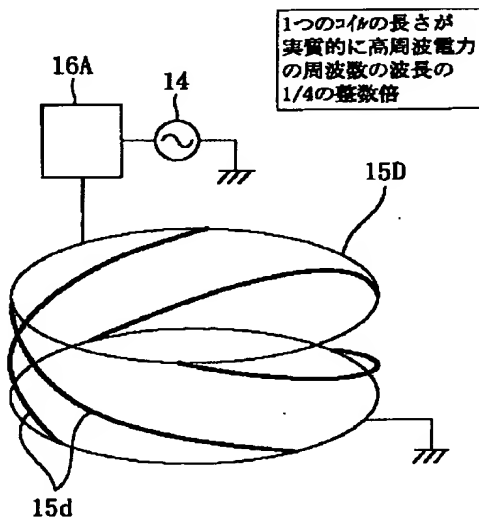
【図6】



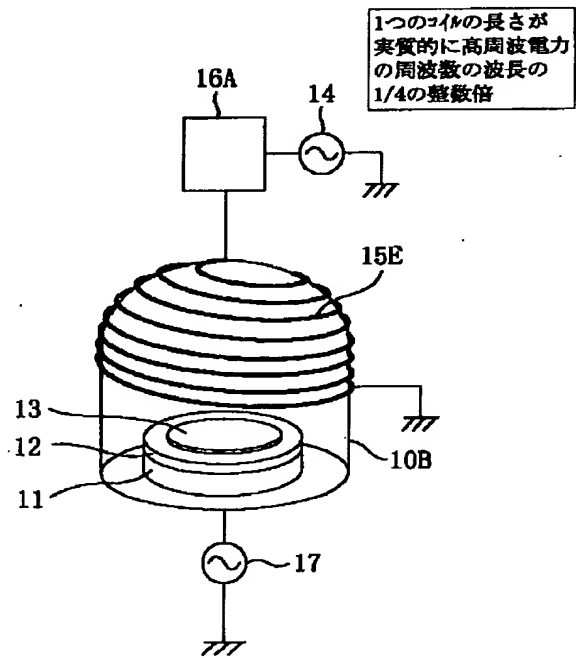
【図7】



【図8】

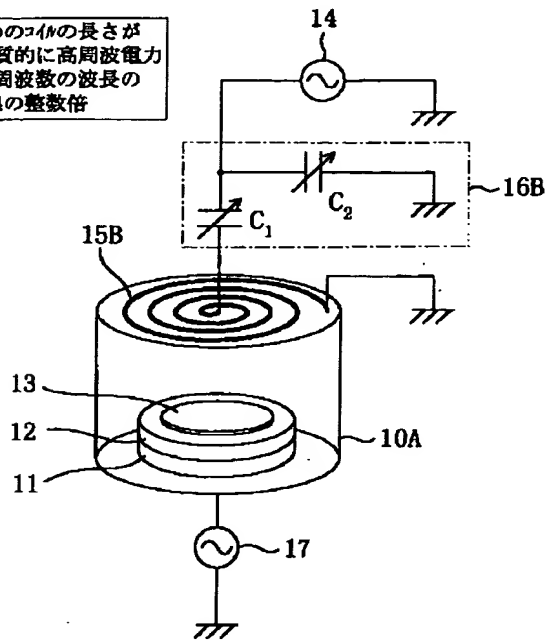


【図9】

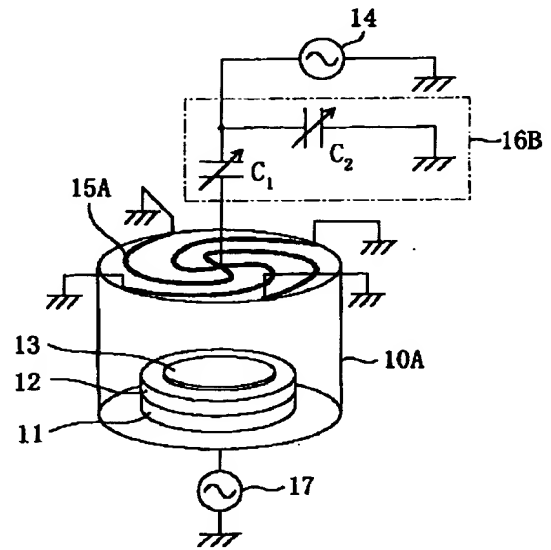


【図10】

1つのコイルの長さが  
実質的に高周波電力の  
周波数の波長の  
1/4の整数倍

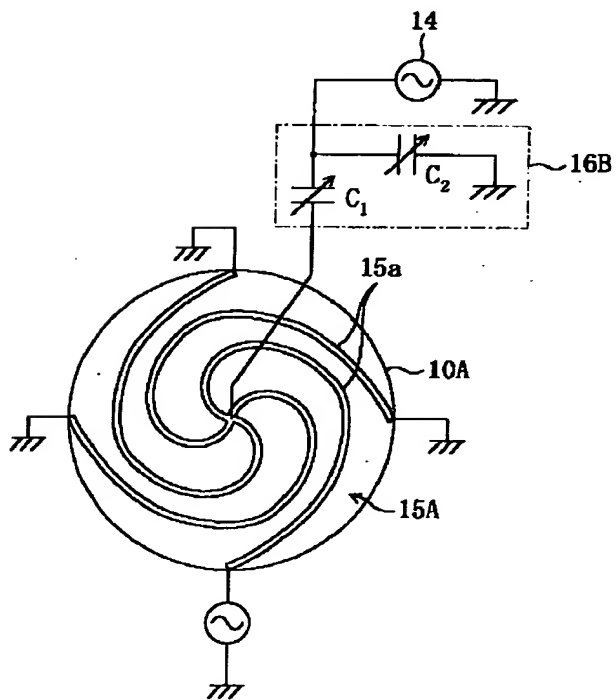


【図11】

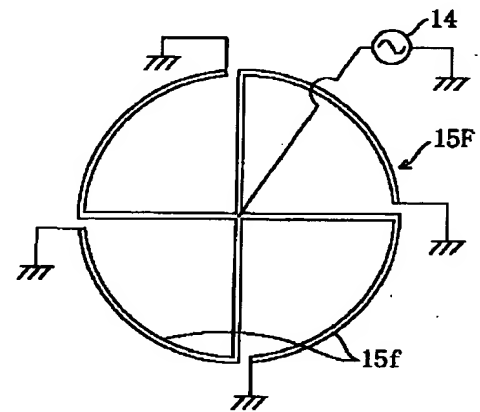


【図13】

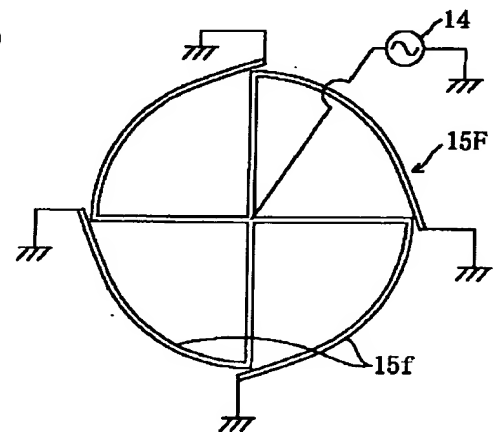
【図12】



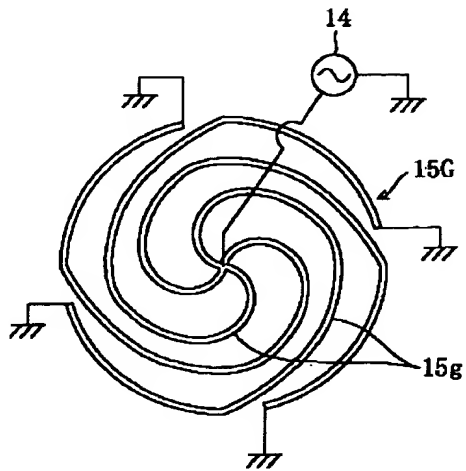
(a)



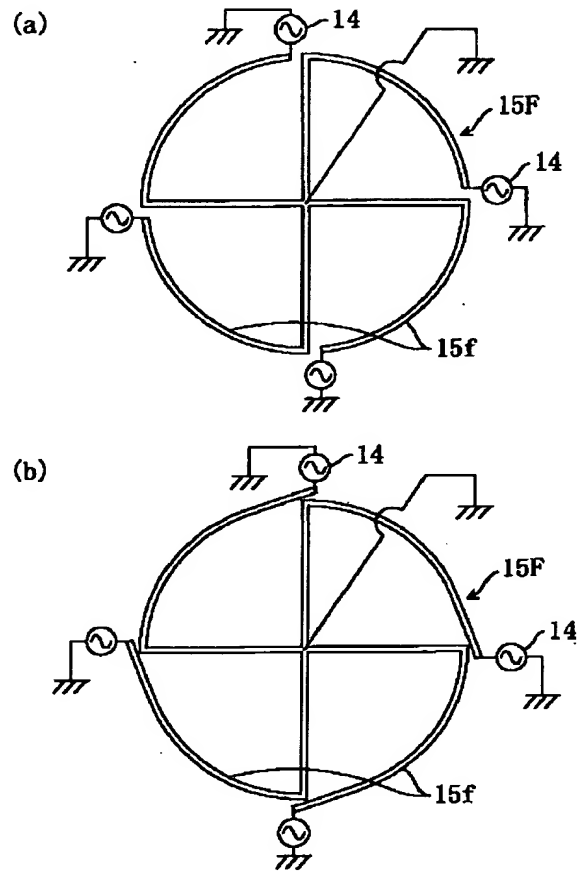
(b)



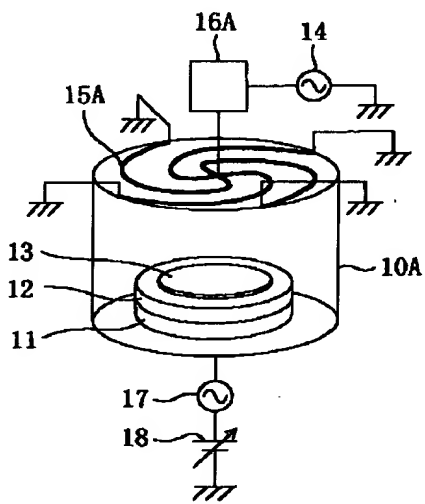
【図14】



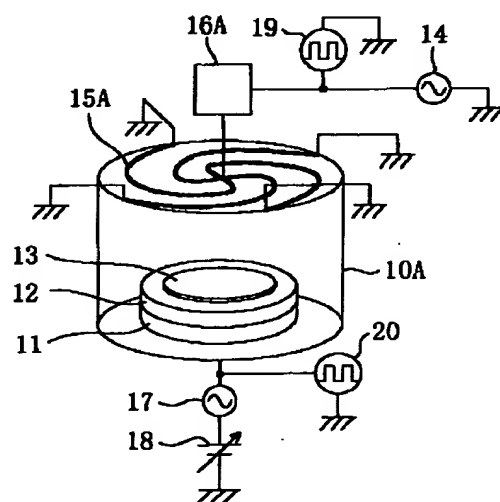
【図15】



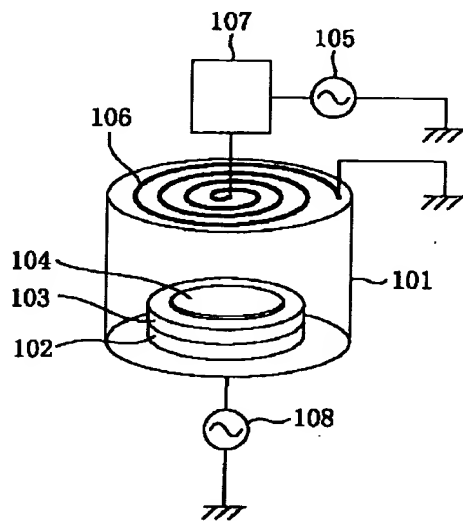
【図16】



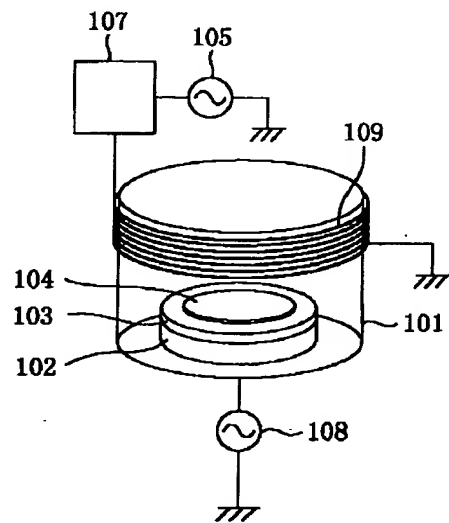
【図17】



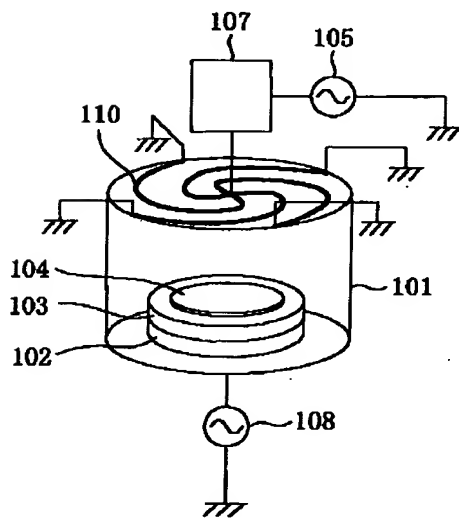
【図18】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

H01L 21/285  
21/3065

識別記号

庁内整理番号

F I

H01L 21/285  
21/302

技術表示箇所

C  
A

(72) 発明者 奥村 智洋

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内